

DIAGRAMAS DE NÍVEIS E FLUXOS

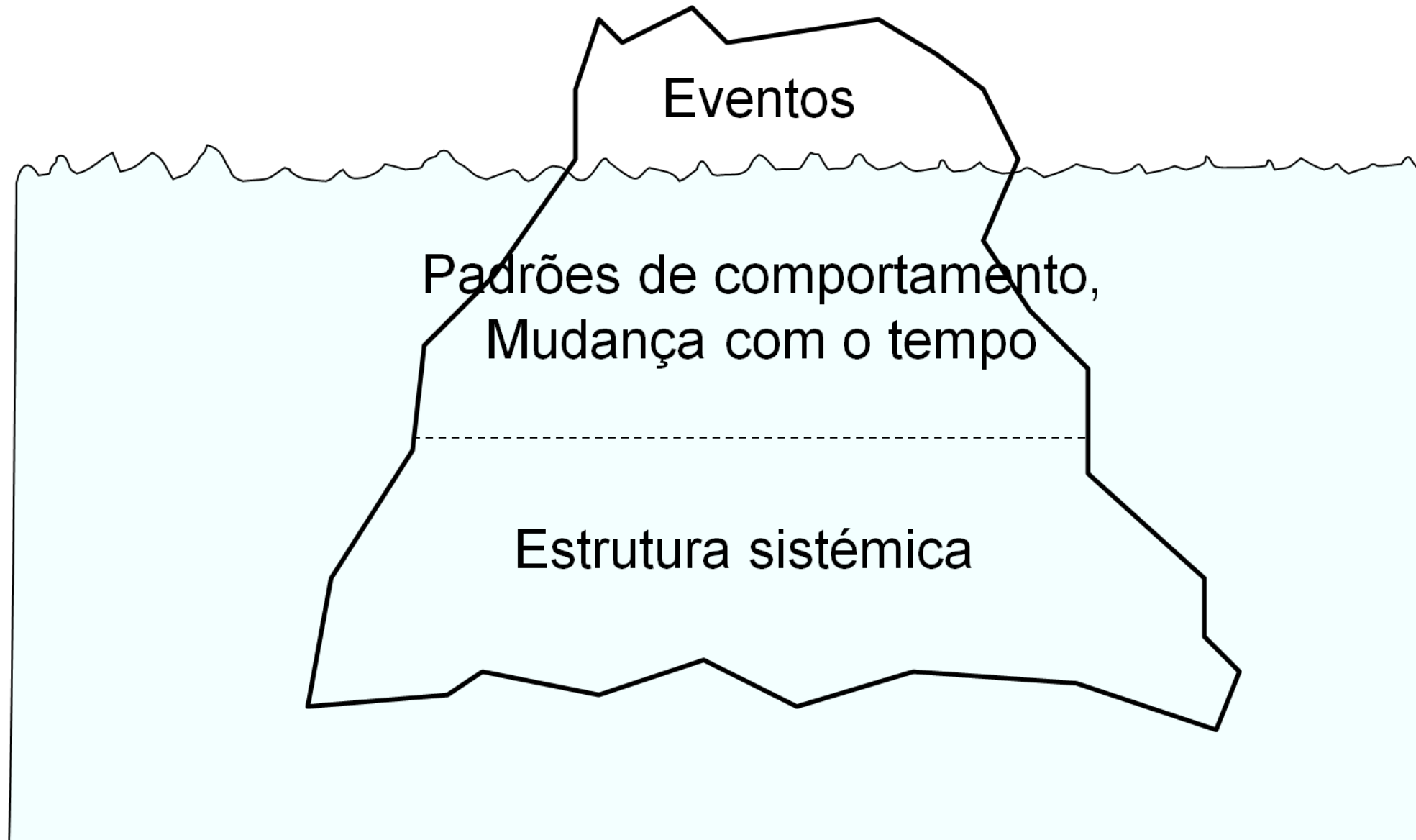
Arnaldo Abrantes

Paulo Vieira

2019

PERCEPÇÃO DO MUNDO QUE NOS RODEIA

- Podemos observar o Mundo a diferentes níveis de análise, tentando olhar para:
 - Eventos (*crashes* na bolsa, inundações, furacões), ou para
 - Comportamentos (pluviosidade na última década, etc.), ou
 - Estruturas (inter-relações entre componentes, *feedback*)



EXEMPLO

PROBLEMA DE CONGESTIONAMENTO DE TRÁFEGO

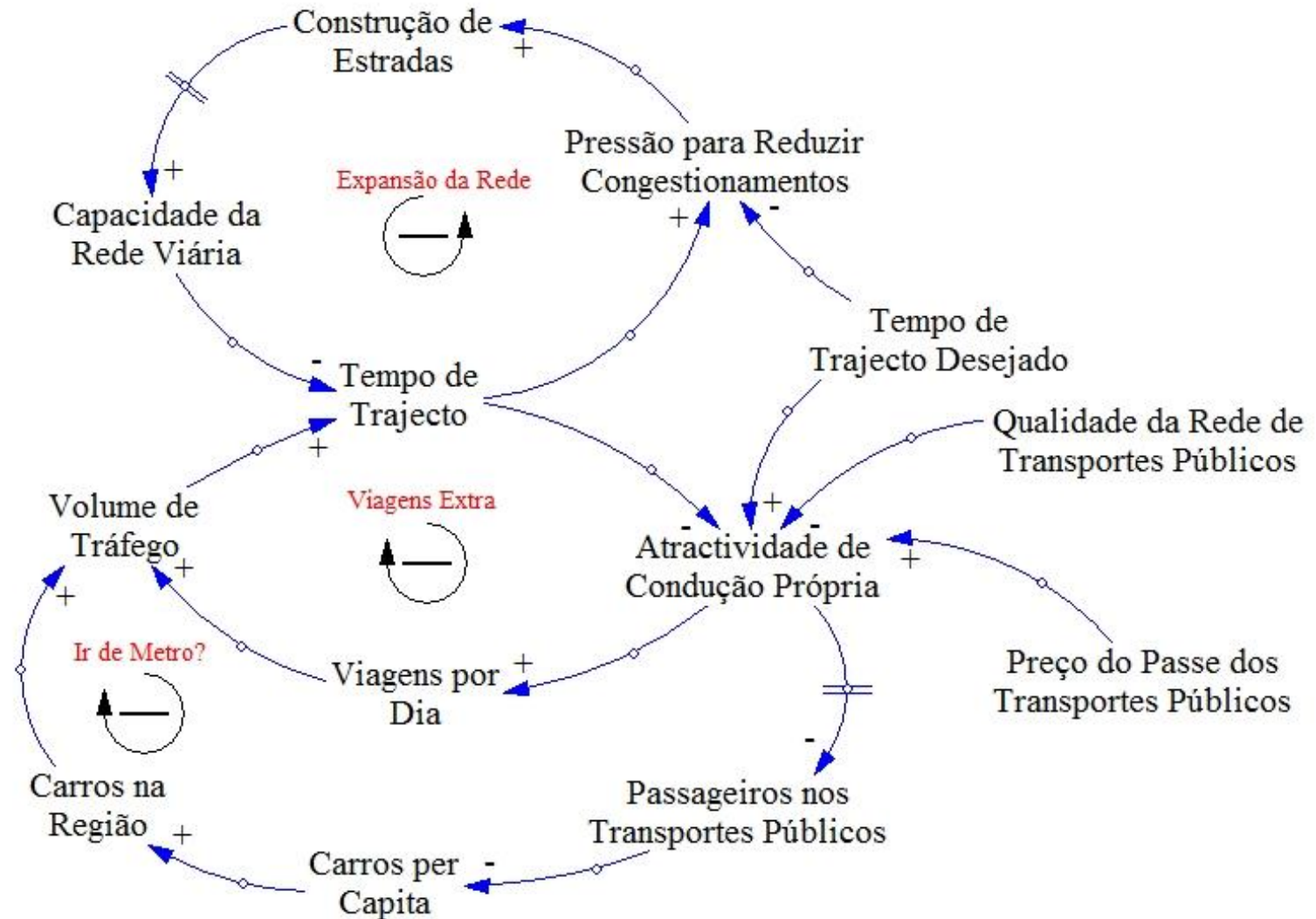
- Perspectiva em malha aberta (baseada em eventos)



- A construção de mais estradas tem feito diminuir os problemas de tráfego? Como era o tráfego há 20 anos atrás?

EXEMPLO

PROBLEMA DE CONGESTIONAMENTO DE TRÁFEGO – MALHA FECHADA (VISÃO SISTÊMICA)



EXEMPLO

PROBLEMA DE CONGESTIONAMENTO DE TRÁFEGO

- A complexidade dinâmica dos sistemas torna frequentemente os seus comportamentos contra-intuitivos, mostrando-se resistentes à mudança, com as acções desencadeadas a conduzirem muitas vezes a consequências não desejadas (economia, combate à droga, construção de estradas, etc.)

COMO ADOTAR A ABORDAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS?

- Considerar os seguintes aspectos chave:
 - Pensamento em termos de relações causa-e-efeito
 - Foco nas ligações entre os componentes do sistema, tentando encontrar ciclos de feedback
 - Determinação da fronteira apropriada, para seleccionar o que deve ser incluído no sistema

COMPREENDER CAUSA E EFEITO

- Pensamento em termos de "Causas" é a chave para organizar ideias no estudo da Dinâmica de Sistemas
- Algumas dessas relações são lógicas (e.g. físicas), tais como:
 - Ingestão de alimentos → Peso
 - Dinheiro → Felicidade
 - Fogo → Fumo
- Outras não o são (e.g. sociológicas):
 - Tamanho dos Dias → Taxas de Suicídio
 - Desempenho da Seleção Nacional → Consumo de Cerveja

BLOCOS DE CONSTRUÇÃO DE PENSAMENTO SISTÊMICO

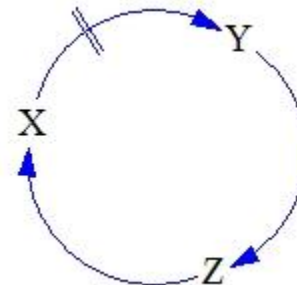
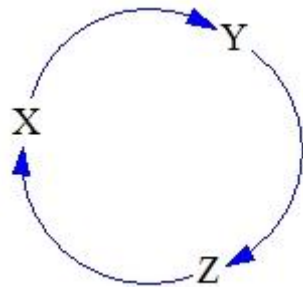
- Ciclos de reforço (*feedback* positivo)
- Ciclos de equilíbrio (*feedback* negativo)
- Atrasos

FEEDBACK

- Uma causa inicial propaga-se através duma cadeia de relações fazendo que em última análise se esteja a afectar a si própria: Oceano → Evaporação → Nuvens → Chuva → Oceano ...
- Procurar identificar ciclos de *feedback* é um dos elementos chave da abordagem da Dinâmica de Sistemas
- As causas mais importantes são exactamente aquelas que estão no interior dos ciclos de *feedback*

CICLO DE *FEEDBACK*

- O termo *feedback* refere-se a uma situação em que X afecta Y, que por sua vez afecta X, eventualmente através duma cadeia de causas e efeitos
 - Há situações onde é importante representar o atraso, ou seja o tempo que medeia entre a acção e o resultado (consequência) dessa acção

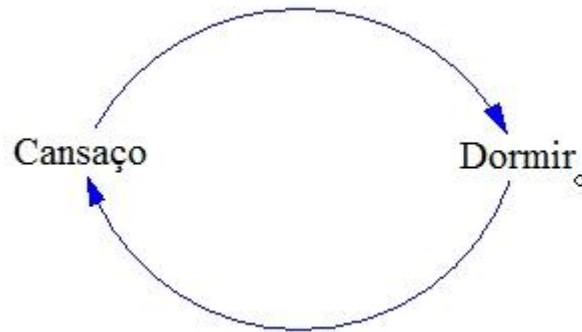


TIPOS DE *FEEDBACK*

- A estrutura do sistema determina o seu comportamento (que, por sua vez, dá origem aos eventos)
- Existem apenas dois tipos de *feedback*:
 - Positivo - Amplifica as alterações (ciclos virtuosos/viciosos)
 - Negativo - Reage às alterações, no sentido de as contrariar (resistência à mudança)

DIAGRAMAS DE INFLUÊNCIA

- O objectivo dos diagramas de influência (também designados por diagramas de ciclos causais) é representar a estrutura do sistema, em termos de ciclos de *feedback*



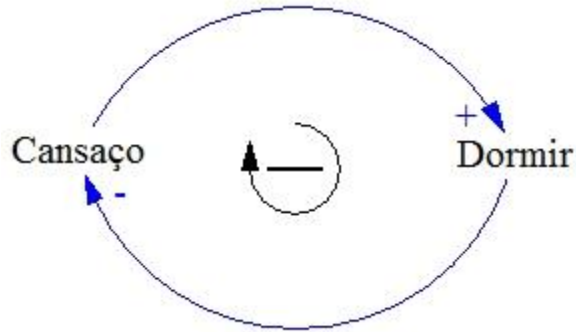
POLARIDADE DAS LIGAÇÕES

- Acrescentar um sinal "+" ou um sinal "-" a cada seta, para fornecer mais informação
- Um "+" é usado na situação em que se a causa aumenta, o efeito aumenta e se a causa diminui, o efeito diminui
- Um "-" é usado na situação em que se a causa aumenta, o efeito diminui e se a causa diminui, o efeito aumenta

DETERMINAÇÃO DA POLARIDADE DOS CICLOS

- Ciclos de feedback positivo
 - Têm um número par de setas com sinal "-"
 - Se uma quantidade aumenta, então inicia-se um efeito "bola-de-neve" e essa quantidade continuará a aumentar
 - O efeito "bola-de-neve" pode ocorrer em sentido oposto
 - Tendem a produzir comportamentos de "crescimento", "amplificação", "afastamento", "reforço"
 - Notação: colocar o símbolo "+" no centro do ciclo
- Ciclos de feedback negativo
 - Têm um número ímpar de setas com sinal "-"
 - Tendem a produzir comportamentos de "estabilidade", "equilíbrio", "procura-de-objectivo"
 - Notação: colocar o símbolo "-" no centro do ciclo

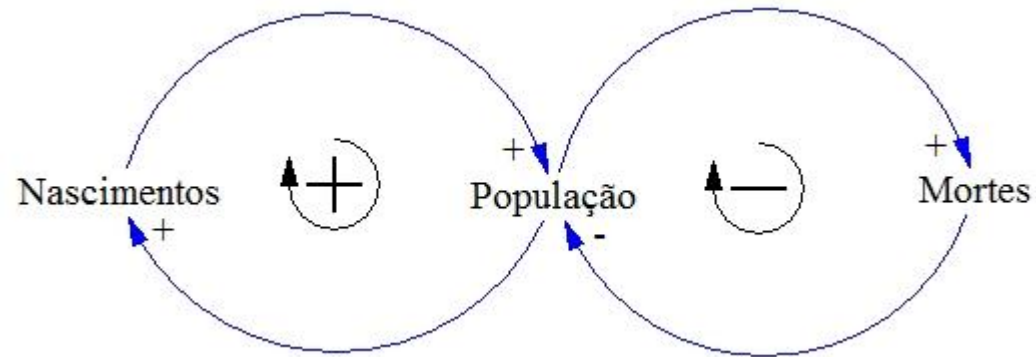
EXEMPLO



- ↗ Quanto mais cansado estou, mais durmo
- ↘ Quanto mais durmo, menos cansado fico
- ↗ Quanto menos cansado estou, menos durmo

COMBINAÇÃO DE CICLOS DE *FEEDBACK*

- Exemplo: Dinâmica Populacional

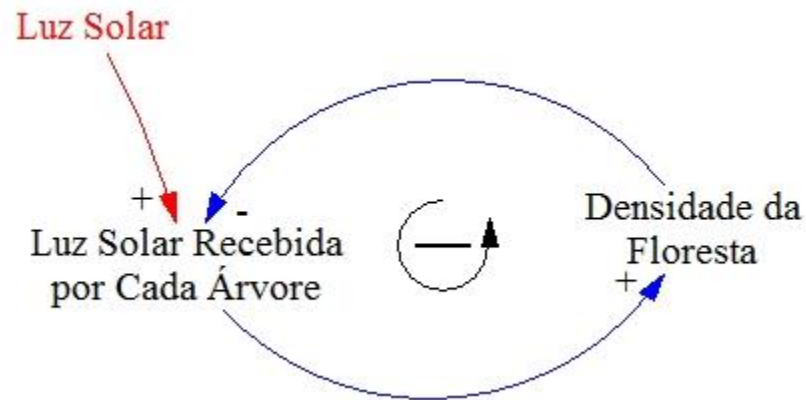


CICLO DOMINANTE

- Existem sistemas que têm mais que um ciclo de *feedback*
- Um desses ciclos é dominante, no sentido em que é o maior responsável pelo comportamento global do sistema
- O ciclo dominante pode variar ao longo do tempo
- O sistema tenderá a ter um comportamento estável enquanto o ciclo dominante for um ciclo de *feedback* negativo

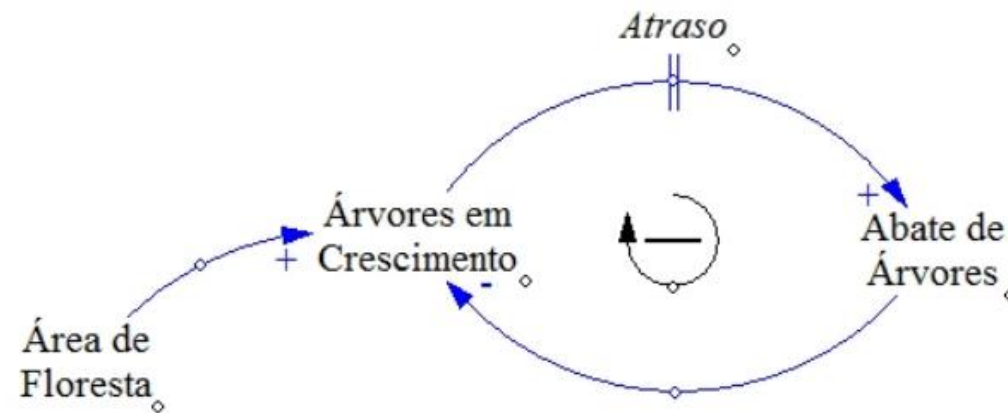
VARIÁVEIS EXÓGENAS

- Variáveis que afectam outras variáveis no sistema mas que elas próprias não são afectadas por nenhum componente do sistema
- Existem setas desenhadas com origem nas variáveis exógenas mas não há nenhuma seta cujo destino sejam essas variáveis



ATRASOS

- Os sistemas por vezes respondem lentamente
- No exemplo seguinte, uma vez as árvores plantadas, o ritmo em que é efectuado o seu derrube pode continuar a ser zero durante algum tempo, até que as árvores estejam suficientemente desenvolvidas para abate



MODELAÇÃO BASEADA EM NÍVEIS E FLUXOS

- Diagramas de Influência são muito úteis para representar interdependências em processos com realimentação
- Os diagramas de influência são apenas um primeiro passo para se obter uma descrição rigorosa (matemática) do sistema condição necessária para que se possa fazer Simulação Computacional) o que é conseguido através da Modelação Baseada em Níveis e Fluxos (*Stocks & Flows*)

NÍVEIS E FLUXOS

- As variáveis de estado (*stocks*) são a memória do sistema, podendo capturar aspectos tangíveis (nível de água, temperatura, população, capital) ou intangíveis (confiança, bem-estar, etc.)
- A alteração das variáveis de estado é feita através de variáveis de fluxo (*flows*), controladas por processos internos (*feedback*) ou influências exógenas

NÍVEIS E FLUXOS

- As velocidades (*flows*) com que estas variáveis de estado variam dependem de dois tipos de factores:
 - Influências exógenas, exercidas pelo ambiente (entradas)
 - Processos internos, que dependem da estrutura (*feedback*)
- O comportamento do sistema (evolução da sua saída) é portanto uma combinação de dois tipos de dinâmicas:
 - Dinâmica intrínseca (*eigendynamics*) – um sistema pode oscilar mesmo sem haver excitação externa (inventário de material, sistema mola-massa, etc.)
 - Dinâmica forçada, determinada pelas influências exógenas




QUAIS SÃO AS VARIÁVEIS DE ESTADO?

- Na construção de um diagrama de Níveis e Fluxos, identifique quais as variáveis que acumulam durante um dado intervalo tempo
- Outra forma de pensar é a seguinte: Se o tempo desacelerasse até parar, quais as variáveis que ainda assim seriam não nulas?




QUAIS SÃO AS VARIÁVEIS DE ESTADO?

- Por exemplo, no sistema de enchimento de um copo com água, a água contida no copo é a variável de estado. Se o tempo parasse, o acto de entornar água (o fluxo) pararia, mas ainda assim veríamos uma quantidade de água no copo (o nível)
- Uma vez identificadas as variáveis de estado (os níveis), começa-se por as representar num diagrama e só depois é que se definem as variáveis de fluxo e as variáveis auxiliares

SÍMBOLOS

- Nível 
 - também designada por variável de estado, acumulador ou stock
 - varia através da acumulação de fluxos
 - varia de forma contínua mesmo quando os fluxos variam de forma descontínua
- Fluxo 
 - também designada por actividade
 - altera o valor dos níveis
 - não depende do seu valor anterior mas sim dos níveis e de influências exógenas
- Dependência 
 - Assinala dependência de outras variáveis,
 - fluxos de informação

SÍMBOLOS

- Auxiliar 
 - também designada por conversor
 - usada para realizar cálculos intermédios
 - usada para facilitar e tornar mais claro o modelo
- Fonte (Source) 
 - A origem dos fluxos está no exterior, para lá da fronteira do modelo
- Poço (Sink) 
 - O destino dos fluxos está no exterior, para lá da fronteira do modelo

EXEMPLO - POPULAÇÃO

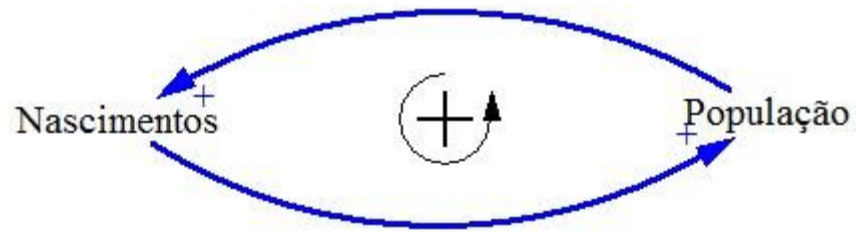


Diagrama de ciclos causais

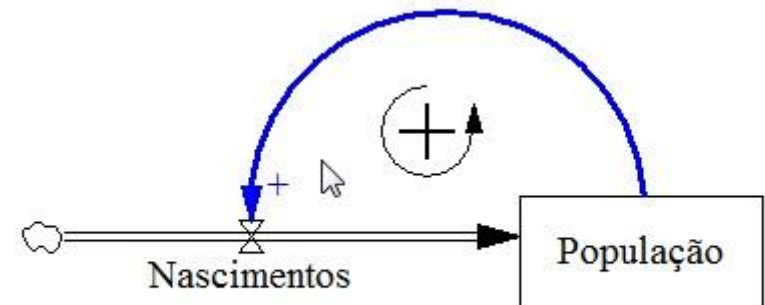


Diagrama de níveis e fluxos

EXEMPLO 2 -CRIANÇAS, CRESCIMENTO E IDADE ADULTA

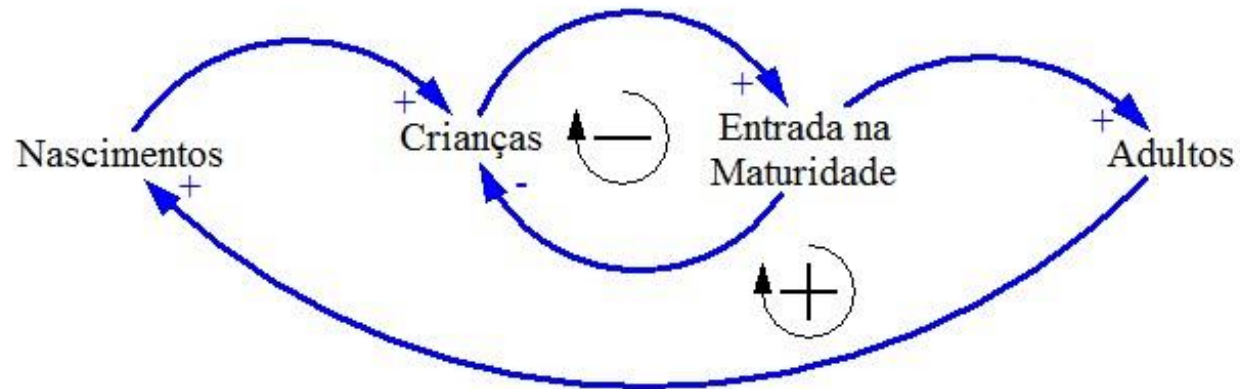


Diagrama de ciclos causais

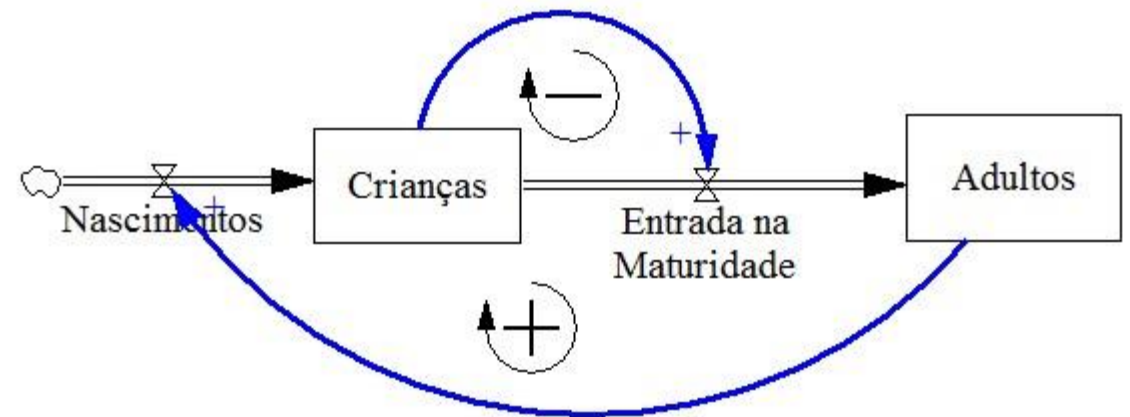
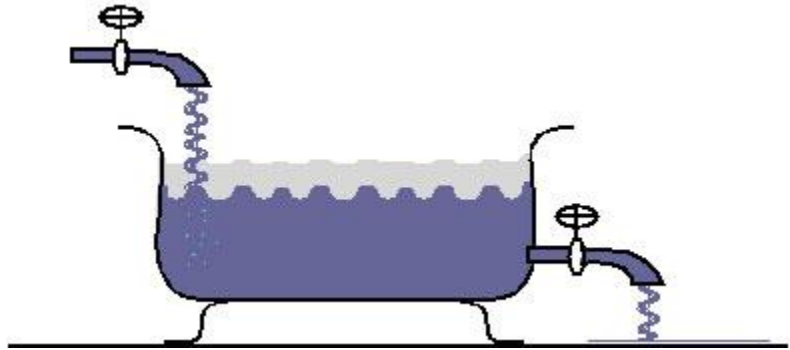


Diagrama de níveis e fluxos

QUATRO REPRESENTAÇÕES EQUIVALENTES



Metáfora Hidráulica

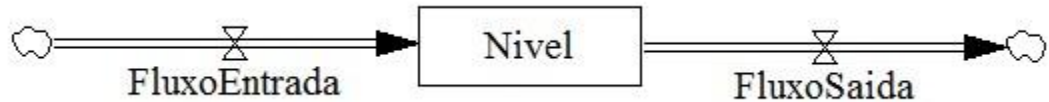


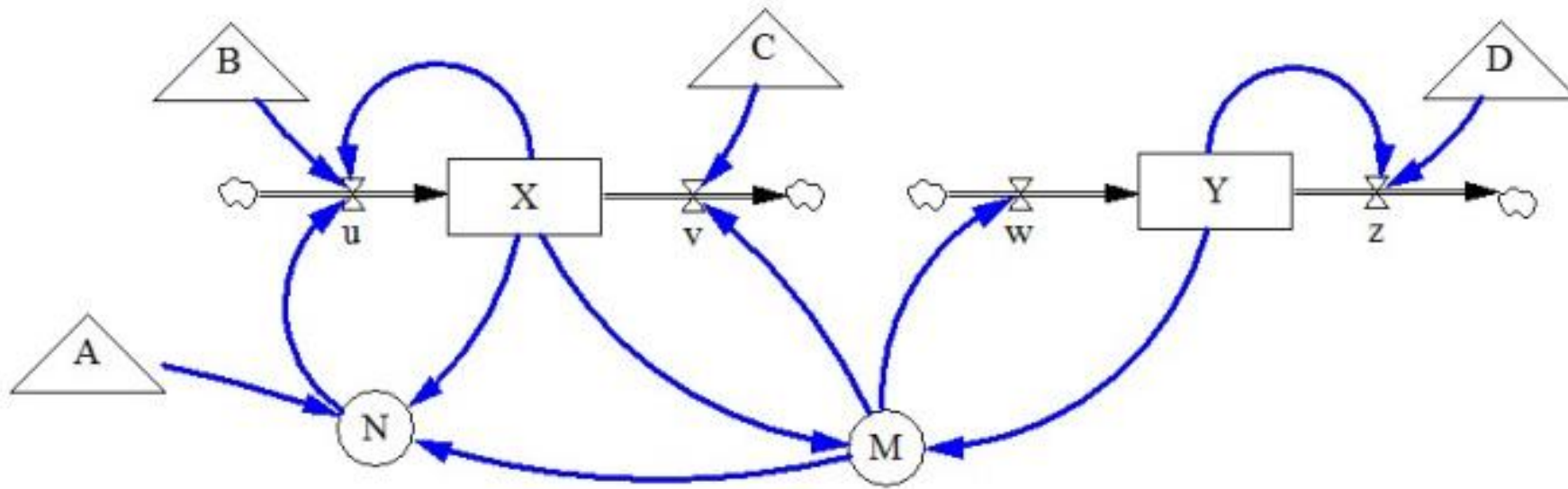
Diagrama de níveis e fluxos

Equação Integral:

$$Nivel(t) = Nivel(t_0) + \int_{t_0}^t [FluxoEntrada(s) - FluxoSaida(s)] ds$$

Equação Diferencial:

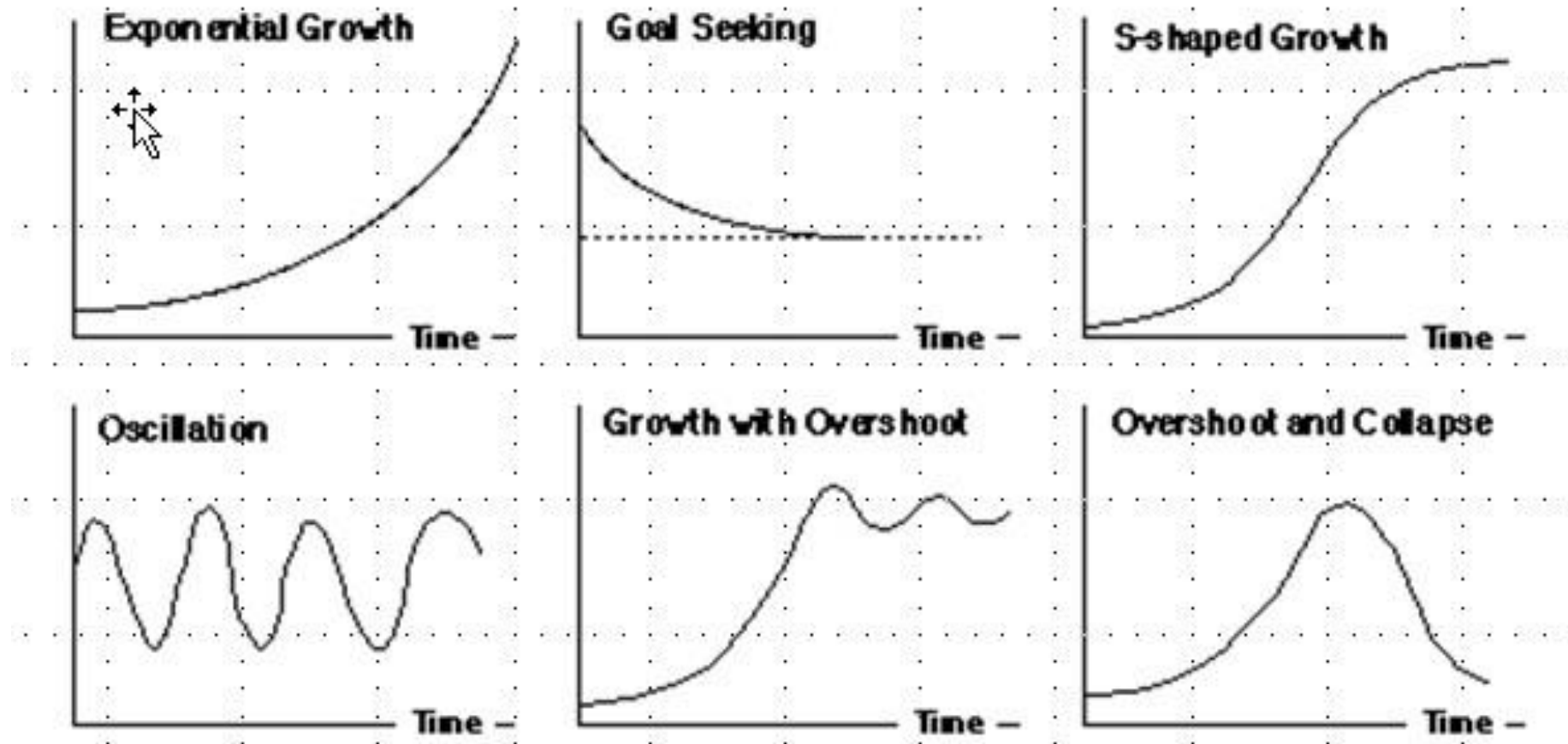
$$\frac{d(Nivel)}{dt}(t) = FluxoEntrada(t) - FluxoSaida(t)$$



- $X(t) = X(t - \Delta T) + (u - v)\Delta T$
- $X(0) = X_0$
- $Y(t) = Y(t - \Delta T) + (w - z)\Delta T$
- $Y(0) = Y_0$

- $u = f_1(X, N, B)$
- $v = f_2(M, C)$
- $w = f_3(M)$
- $z = f_4(Y, D)$
- $N = f_5(X, M, A)$
- $M = f_6(X, Y)$

ESTRUTURA E COMPORTAMENTO



EXERCÍCIO PRÁTICO - POPULAÇÕES

- Transforme o diagrama de ciclos causais seguinte num diagrama de níveis e fluxos
- Faça a sua simulação utilizando a ferramenta *Insight Maker*
- Teste os resultados para várias configurações (População inicial, taxa de natalidade e taxa de mortalidade) e observe os resultados

